

柔性作业车间

生产调度与控制系统

· 徐 兵 陶丽华 白俊峰 著 ·

ROUXING ZUOYE CHEJIAN
SHENGCHAN DIAODU YU KONGZHI XITONG



化学工业出版社

柔性作业车间

生产调度与控制系统

· 徐 兵 陶丽华 白俊峰 著 ·

ROUXING ZUOYE CHEJIAN
SHENGCHAN DIAODU YU KONGZHI XITONG



化学工业出版社

· 北京 ·

本书主要讨论了柔性作业车间多层调度与控制结构, 柔性作业车间生产管理与控制的关键技术及实施方法, 系统阐述了集成框架下建立柔性作业车间的整体解决方案, 深入分析和研究典型集成体系结构, 利用客户/服务器模式和数据库技术作为支撑技术, 提出适合于柔性作业车间环境条件的集成框架, 并研究开发了集成框架内通信服务器、信息服务器以及前端服务器软件等支撑软件, 提出了集功能集成、信息集成和过程集成于一体的统一的柔性作业车间集成平台, 为实现多种控制方式的集成提供了可能。

本书可供从事现代制造系统开发、推广柔性制造工程技术的工程技术人员, 工商管理专业、工业工程专业及自动控制专业的本科生和研究生, 以及企业车间作业和管理控制有关部门的技术人员阅读和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

柔性作业车间生产调度与控制系统/徐兵, 陶丽华,
白俊峰著. —北京: 化学工业出版社, 2015. 5

ISBN 978-7-122-23557-2

I. ①柔… II. ①徐…②陶…③白… III. ①生产作
业-车间调度-控制系统-研究 IV. ①F406.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 068956 号

责任编辑: 董琳

文字编辑: 谢蓉蓉

责任校对: 边涛

装帧设计: 孙远博

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 10 $\frac{1}{4}$ 字数 184 千字 2015 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

FOREWORD 前言

柔性制造系统是先进制造技术的重要研究内容之一，它追求制造系统在集成生产模式下的效益最大化。系统集成、生产作业调度和生产过程控制技术构成了柔性制造系统的三项关键支撑技术。本书是作者在多年从事柔性制造系统开发经验的基础上，结合某企业典型柔性制造系统工程项目的制造系统——柔性作业车间一期工程开展相关技术的研究与开发。

首先，本书在分析和研究典型集成体系结构的基础上，以递阶控制结构为参考，利用客户/服务器模式和数据库技术作为支撑技术，提出了适合于柔性作业车间环境条件的集成框架，并研究开发了集成框架内通信服务器、信息服务器以及前端服务器软件等支撑软件，提出并为柔性作业车间的功能集成、信息集成和过程集成提供了统一的集成平台。该平台利用其开发性，为实现多种控制方式的集成提供可能。

其次，智能调度作为优化生产资源的重要支撑技术，可显著提高车间的生产效率。本书第3章首先对柔性作业车间调度问题进行了数学定义，并针对具有柔性工艺特点的生产调度问题，提出了基于优先规则的启发式调度算法和基于工件加工进度率的随机搜索启发式调度算法，在此基础上提出了一种改进的遗传算法。根据生产周期、设备空闲时间和设备平均利用率等指标对三种算法进行了比较和分析，并通过经典作业排序实例对三种算法的性能进行测试与比较，结果显示改进遗传算法在求解的效率和质量上具有明显的优势。最后，结合某企业机械加工车间生产计划调度的实际需求，采用改进的遗传算法设计开发了柔性作业车间生产计划调度管理系统。

第三，柔性作业车间的生产控制过程是伴随着与加工过程有关各个事件的发生和消失而进行的，而事件的发生具有时间和空间上的不确定性，在第4章中采用面向对象的Petri网作为描述生产过程控制的工具。面向对象的Petri网具有如下特点：（1）通过定义“门”变迁，可控制对象之间消息传递的方向，防止Petri网中冲突现象的发生，并可为控制提供决策点；（2）使用面向对象的Petri网描述控制系统，可以把数据流与控制流有机地结合起来，并封装成独立的模块，提高了Petri网的建模能力和软件的重用性、维护性；（3）巧妙地让面向对象Petri网的运行驱动方式与制造系统中

事件驱动方式相对应，通过编制事件驱动程序，即可方便地将控制模型转化为过程控制程序。

第四，现代意义上的 DNC 着眼于车间信息集成，针对车间的生产计划、技术准备和加工操作等基本作业进行集中监控与分散控制，并作为柔性作业车间的基本组成部分。本书中提到的 DNC 系统既可以作为柔性作业车间的设备信息采集，同时又可以作为独立的车间数控设备管理而存在。

本书以实际工程为背景，针对柔性制造技术在推广过程中的关键技术，运用系统科学理论和工程方法，开展典型柔性作业车间在集成、调度与控制等方面的研究，并系统地提出了整体解决方案，希望本书能为从事该类工程技术人员提供参考。

本书是在多年工程实践的基础上进行的，并汲取了最新的研究成果，由于作者的水平和能力有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

徐 兵

2015 年 3 月 于长春工业大学

CONTENTS 目录

第1章 绪论	1
1.1 问题的提出	1
1.2 调度与控制系统研究综述	3
1.2.1 制造系统的体系结构研究概述	3
1.2.2 柔性作业车间调度问题研究	6
1.2.3 制造系统建模研究	7
1.3 本书内容结构安排	8
第2章 柔性作业车间体系结构	10
2.1 柔性作业车间概述	10
2.2 柔性作业车间体系结构	12
2.2.1 柔性作业车间控制结构	12
2.2.2 柔性作业车间集成框架	16
2.3 柔性作业车间调度控制系统模型	25
2.3.1 IDEF 建模方法	25
2.3.2 功能模型	27
2.3.3 信息模型	34
2.4 小结	37
第3章 柔性作业车间调度优化算法	38
3.1 柔性作业车间调度问题研究现状	38
3.2 作业调度问题的数学描述	40
3.3 基于启发式的作业调度	44
3.3.1 基于优先规则的启发式调度算法	44
3.3.2 基于工件加工进度率的启发式调度算法	50
3.4 基于改进遗传算法的作业调度	55
3.4.1 遗传算法的基本原理	55
3.4.2 遗传算法的基本遗传操作	56
3.4.3 柔性作业车间调度的改进遗传算法	59
3.4.4 改进的遗传算法流程	64

3.4.5 求解 FJSF 一期工程的生产调度	65
3.5 三种调度算法的性能对比分析	69
3.6 柔性作业车间生产计划调度系统工程应用	80
3.6.1 柔性作业车间调度问题的提出	80
3.6.2 车间生产计划调度系统的设计	81
3.6.3 生产作业计划制订	82
3.7 小结	86
第4章 基于 Petri 网的柔性制造车间单元控制系统	88
4.1 Petri 的国内外发展现状	88
4.2 基本 Petri 网	92
4.3 面向对象的 Petri 网	94
4.3.1 面向对象高级 Petri 网模型的提出	94
4.3.2 OPNets 模型的扩充——OOPNN	95
4.3.3 面向对象 Petri 网模型的形式化定义	97
4.4 基于面向对象 Petri 网的 FJSF 运行控制系统模型	98
4.4.1 基于 OOPN 的单元运行控制结构	98
4.4.2 OPNCC 模型的开发流程	99
4.4.3 静态分析	101
4.4.4 动态分析	114
4.5 基于 OOPN 控制系统的程序实现	118
4.5.1 采用面向对象语言描述的 Petri 网控制模型	118
4.5.2 控制程序结构	121
4.6 小结	125
第5章 分布式数控系统	127
5.1 分布式数控——DNC 概述	127
5.2 DNC 系统的功能结构	129
5.3 DNC 的工程应用	132
5.3.1 程序传输网络连接	132
5.3.2 数据采集网络连接	134
5.4 NC 程序传输	136
5.4.1 使用 NPort 传输数据	136
5.4.2 机床侧收发程序	137
5.5 数据采集及监控	140
5.5.1 使用 IOLogic 采集数据	140

5.5.2 基于 OPC XML DA 规范的数据采集及监控系统	141
5.5.3 系统实现	144
5.6 NC 程序管理	147
5.6.1 软件层次结构设计	147
5.6.2 系统数据库设计	148
5.6.3 DNC 系统管理	151
5.7 小结	159
参考文献	160

第1章 绪 论

柔性制造技术是传统制造技术、信息技术、计算机技术、自动化技术与
管理科学等多学科先进技术的综合。柔性制造系统以集成化生产为特征，通
过大量决策变量和多个优化目标的实施，已成为适应多品种、中小批量生产
规模的自动化制造系统。

1.1 问题的提出

传统的自动化生产线，其加工设备多为专用机床，加工工艺也是相对固
定的，适于在大批量生产中应用。由于专用机床是专为某一或某一类零件设
计的，只能加工一个或多个相似的零件，故有时也称此类生产线为刚性自动
化生产线。随着国际市场竞争日趋激烈以及用户需求的多样化，要求发展多
品种中小批量生产自动化技术。选用硬件设备可调的方法实现多品种、小批
量生产自动化，在技术上有许多很难克服的困难。

近年来，由于计算机技术、数控加工技术以及加工中心、工业机器人等
技术的发展，使多品种、中小批量生产自动化出现了新的转机，并相继出现
了柔性制造单元、柔性制造系统和柔性生产线等多种柔性生产自动化模式。
其中柔性制造系统（Flexible Manufacturing System, FMS）由两台以上的
数控机床或加工中心、工件储运系统、刀具储运系统和多层计算机控制系统
组成。典型的 FMS 控制的基本结构如图 1-1 所示。

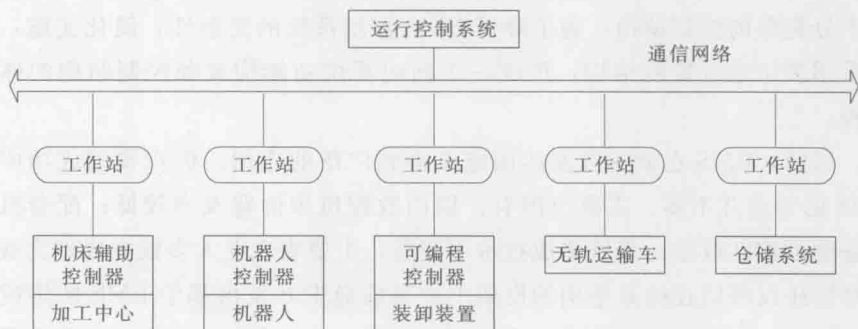


图 1-1 FMS 控制的基本结构

然而，单纯将加工设备合理地组成一个系统，并不一定就能取得高效的生产过程，美国英格索尔（Ingersoll）铣床公司曾分析了从原材料进厂到成品出厂的“时间组成”。结果表明：对于一个机械零件来说，只有5%的时间是在机床上加工，另外95%的时间则是在仓库中或是在机床之间运输或等待；而在5%的加工时间中，切削时间仅占30%，辅助占了70%。零件在生产系统中的流经时间组成如图1-2所示。

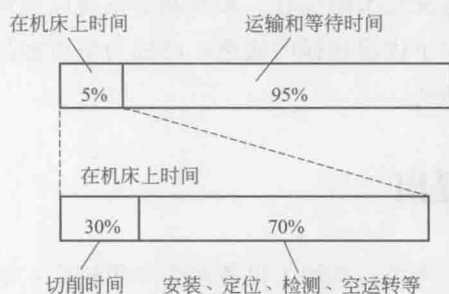


图 1-2 零件在生产系统中的流经时间组成

需要指出的是，FMS 的效益和优点是潜在的。单纯将 FMS 的硬件设备组成一个系统，并不一定就能取得减少零件等待时间的目标。在实施 FMS 的过程中，还必须以有效的系统运行管理措施为保证。FMS 的运行管理是通过 FMS 中调度与控制系统来实现的，而调度与控制系统的核心功能是制订生产计划，并依据生产计划的要求和生产现场的状态来控制物料的流动。因此 FMS 的运行管理从本质上也是在系统信息集成的基础上，制订出使 FMS 能以最优方式运行的若干决策的过程。这些决策过程包括作业计划、物流调度、自动加工、刀具监控、质量跟踪等，涉及的控制对象不仅包括机床、工件、夹具以及托盘等硬件资源，而且含有工件工艺信息、数控加工程序、生产计划、调度指令以及工况等软信息资源。FMS 的调度与控制系统是十分复杂的控制结构，为了降低 FMS 控制系统的复杂性，简化实施，需要采用多层递阶控制结构，形成一个面向系统功能构成和控制结构的体系结构。

目前，FMS 在欧美等发达国家已得到广泛的应用，但在我国成功应用 FMS 的企业并不多，主要原因有：国内数控机床的普及率较低；配套机电设备的可靠性较差；系统集成技术不完善，主要表现在大多数集成理论或控制结构还仅停留在体系结构的框架上，目前尚未开发出基于 FMS 的集成平台；调度与控制系统建模理论应用于大规模 FMS 的能力较低。本书主要针对后两个问题进行应用研究。

本书作者结合从事多年 FMS 的科研经验,以某机械加工企业的柔性制造车间一期工程为背景,开展柔性制造车间生产作业调度与控制系统的應用研究。该柔性作业车间(Flexible Job Shop-Floor,简称 FJSF)共有加工设备 15 台、有轨运输小车 1 台、无轨运输小车 1 台和 2 个装卸站,整个工程项目分两期展开,一期工程有 8 台加工设备纳入调度与控制系统范围,二期工程将其余设备全部纳入控制系统,项目一期工程完成后,要求利用纳入调度与控制系统的 8 台加工设备实现 13 种工件的加工,对调度与控制的要求属于典型的柔性作业车间。

本书研究所取得的成果对于合理利用资源、缩短生产周期、提高柔性制造车间的综合生产能力、发展柔性制造技术具有重要的学术价值和实用意义。

1.2 调度与控制系统研究综述

在 FMS 实施中,就生产调度和控制而言,有三项关键技术必须解决。首先是系统集成技术,它的目标是建立一个集成化控制系统的体系结构,该结构不仅可满足生产系统中子功能模块集成,使系统内的各种制造信息通过该体系结构实现无缝联结,而且可根据车间的进一步发展需要,能够保证新的设备或技术易于集成到系统中,强调体系结构的开放性。其次是生产调度技术,它负责对加工过程进行作业调度,提高加工设备的利用率。第三为离散生产过程的单元控制技术,负责车间内小车调度、加工程序的下载、物料装卸以及资源状态信息的管理。

1.2.1 制造系统的体系结构研究概述

(1) 集中式控制结构

早期由于生产技术水平较低并具有稳定的市场环境,制造系统的主要产品品种单一,生产设备的专用性强,生产过程控制相对简单,制造系统一般采取静态集中控制结构,其特点是一台主计算机完成全部信息处理和决策控制,制造系统的全部数据存储在一个全局数据库里。例如,德国一家机车公司开发的柔性制造单元采用了典型的集中控制结构,其单元控制器完成刀具流和工件流协调控制及机床加工控制等全部功能。日本的 NEFAMS 系统中主控计算机完成 NC 程序管理、刀具管理、日程计划、库存管理和监控全部功能。意大利的 Comau 公司开发了一套基于集中控制结构的软件,处理柔性制造系统的全部控制问题。集中控制结构的优点有:

- ① 全局信息可共享；
- ② 可全局优化；
- ③ 唯一的系统状态信息汇集地。

但是集中控制结构也存在以下缺点：

- ① 响应速度慢；
- ② 控制任务的完成依赖于唯一的集中控制单元；
- ③ 控制软件难以更改；
- ④ 一旦主计算机出现故障，会造成全系统的瘫痪。

基于集中控制结构的制造系统容错性差、扩展性低和开发周期长，它仅适用于一些规模小、控制结构较为简单的制造系统中。

(2) 递阶控制结构

随着制造系统规模的扩大，递阶控制结构在制造系统中得到高度重视和广泛应用，目前在实施中仍占据主导地位。递阶控制结构是依据“控制层”的思想进行构造的，目的是将复杂的问题按照一定的功能层次进行分解，把复杂任务分解成一系列简单的子任务。Mollo 开发的一个 3 层 FMS 递阶控制系统中，最高层负责系统监控，中间层控制物流，底层进行加工控制。Savolainen 和 George 等分别提出了 4 层 FMS 和 CIMS 递阶控制结构，其中，第 1 层进行市场分析及需求预测，第 2 层进行生产管理，第 3 层进行物流控制，第 4 层进行加工实时控制。J. O'Grady 提出了 4 层的 AFMA 模型，美国国家标准局提出了 5 层的 AMRF 模型，欧共体 CIM (Computer Integrated Manufacturing) 开发项目中提出了开放式 CIM 体系结构 CIM-OSA (CIM Open System Architecture)，它是较为完善的解决方案，已被国际标准化组织确定为国际预标准。CIM-OSA 所提出的基于框架的集成基础结构体系 CIM-OSA-IIS (CIM OSA Integrating Infrastructure) 框架，为开发 CIM 基础支撑结构提供了指南。Prischow 提出一种 7 层的 CIMS 递阶控制结构。

在众多递阶控制结构中，以 AMRF 模型影响最大，我国 863 计划 CIMS 都采用了这种控制结构。在该控制结构中，工厂层由生产管理、信息管理和设计工程等部分组成，制订长期的生产计划、制造资源规划及经营管理，并实现产品 CAD 和工艺规划等功能；车间层主要由任务管理的资源分配等部分组成，完成生产能力分析、任务分解和资源分配等功能；单元层由调度和资源能力分析等模块构成，进行日作业计划制订和加工路径控制；工作站层协调和控制一组相关设备，完成指定的加工和搬运作业的实时调度；设备层控制加工机床和搬运设备的运动过程。

递阶控制结构共同的优点是：

- ① 不依赖一个唯一的中央控制装置，可靠性高；
- ② 功能模块相对比较独立，可分阶段实施；
- ③ 信息流向清晰，控制信息自顶向下，反馈信息自下向上，各层的控制模块同时进行信息处理，可处理大量信息满足实时控制需求；
- ④ 具有较好的修正性和扩展性，当生产环境或目标发生变化时，可进行局部修正和扩展；
- ⑤ 功能模块之间界面分明，可并行开发，缩短实施周期。

虽然递阶控制结构目前在复杂制造系统中占据主导地位，但也存在许多问题并面临严重挑战。例如，AMRF模型可很方便地描述工厂自动化系统的结构，但现实工厂的管理模式都不符合5层递阶控制结构，这是因为该结构存在下列问题：

- ① 控制层与控制层之间的关联性强；
- ② 系统扩展性能力薄弱，虽然可进行局部修正和扩展，但不能进行全面的扩展；
- ③ 为提高容错性，需增加辅助设备。

(3) 动态控制结构

为了解决递阶控制结构面临的问题，各企业纷纷进行结构重组/重构；然而企业重组往往对企业造成巨大冲击，而且需要很高的经费投入。为降低企业重组/重构过程的冲击和巨大的经费投入，要求发展具有灵活变化能力的动态控制结构制造系统。在具有动态控制结构的制造系统中将制造系统划分为若干自治单元，自治单元具有决策智能，采用目标驱动机制，在动态控制结构中系统的实体具有高度自治性，可快速响应环境变化。制造系统内自治单元进行变化和重构的关键因素是建立开放式动态结构。

制造系统动态结构描述三个方面的关系和约束：

- ① 系统和环境相关的方式和强度；
- ② 系统内部各自治单元之间的关系和相关程度；
- ③ 自治单元内部的结构。

目前，动态控制结构还处于研究阶段，系统理论不是十分完善，实施中有些技术依然存在难以解决的问题，例如：

- ① 单元自治与系统整体性能优化的矛盾；
- ② 难于建立局部自治与全局控制之间的协调机制；
- ③ 在我国的生产企业中，递阶式的管理模式仍然十分普遍，要实现快速重组/重构，显然会受到管理体制的制约；

④ 原有制造系统与新系统之间的兼容性问题。因此，动态控制结构的全面实施还有待时日。

在上述三种控制系统结构中，都存在着难以克服的缺陷，为此必须寻找一个兼有递阶控制和动态控制优点的控制系统结构，以实现制造系统真正的整体优化。之后研究人员分别提出了许多混杂控制结构，这些结构采用不同的协商/协作策略，实现了单元之间相互协调的关系，兼有递阶和分布式控制结构的特点。

1.2.2 柔性作业车间调度问题研究

柔性作业车间计划调度与控制的主要目标是通过资源的合理调配，达到缩短产品的制造周期，减少在制品，减低库存，提高生产资源的利用率，最终达到提高柔性作业车间生产效率的目的。从数学规划的角度看，调度问题可表达为在等式或不等式约束下，对一个或多个目标函数的优化。现代典型的调度问题是：将作业均衡地安排到各处理机上，并合理地安排作业的加工次序和开始时间，使约束条件被满足，同时优化一些性能指标。对加工过程的合理调度，可有效提高资源的利用率和生产的效益。车间生产过程的调度问题，是制造系统运筹技术、管理技术与优化技术发展的核心。有效的调度方法与优化技术的研究和应用具有重要的实用价值。

柔性作业车间调度是典型的组合优化问题，经过近 60 年的发展，车间调度问题的研究方法经历了从简单到复杂、从单一到多元的过程。解决调度问题的方法主要分为精确方法和近似方法两类。

(1) 精确方法

精确方法主要包括数学规划方法、混合整数规划方法、拉格朗日松弛法、分解方法以及分枝定界法等。精确方法主要基于组合优化问题的分枝定界策略，寻找问题的最优解，尽管此类算法已有不少改进，但其费时的致命缺点仍无法克服，且问题的规模局限于 100 个操作上下，算法的实现还需要相当的技巧，只适用于解决较小规模的问题，而且速度较慢。

(2) 近似方法

近似方法主要包括构造方法和人工智能方法。构造方法主要包括优先分派规则法、插入方法和基于瓶颈的启发式方法等。人工智能方法包括遗传算法、免疫算法、蚁群优化算法和粒子群优化算法等。近似方法求解调度问题时，虽然可以较快地得到问题的解，但不能保证解是最优的。此类算法兼顾求解的速度与精度，在合理的时间内寻找尽可能好的满意解。这些算法都还在不断地改进和发展，使得它们在求解特殊的调度问题或者一般的调度问题

时更加实用和高效。

由于进化算法在解决车间调度问题上的简单和高效,已经成为在调度优化方面应用最广泛的方法。进化算法(Evolutionary Algorithm, EA)通常包括遗传算法(Genetic Algorithm, GA)、遗传规划(Genetic Programming, GP)、进化策略(Evolution Strategies, ES)和进化规划(Evolutionary Programming, EP)。它们都是模仿生物遗传和自然选择的机理,用人工方式构造的一类优化搜索算法。近十几年来,近似算法得到了不断的改进和发展,Holsapple将遗传算法与滤波搜索方法相结合,用于实现柔性制造系统的静态调度。而Lee也利用遗传算法提高了柔性作业车间的静态调度效率。但遗传算法在求解车间调度问题时,也存在过早收敛以及计算速度慢的缺陷,为此许多学者针对标准遗传算法进行了改进,先后提出了不同的策略来改善遗传算法的性能,并将遗传算法和其他算法相结合用于提高算法的效率,改进的遗传算法已成为柔性作业车间调度优化的一个重要的研究方向。

1.2.3 制造系统建模研究

制造系统的控制过程具有高度复杂性,它主要表示在以下两个方面:其一为控制对象种类繁多(如加工设备、工件、刀具、夹具、托盘以及数控程序等),而且每个控制对象在系统运行期间具有不同状态;其二为状态之间的转换在控制逻辑上存在并发、异步、冲突和竞争等关系。就其实质而言,制造系统属于离散事件动态系统(DEDS, Discrete Event Dynamic System)。所谓DEDS是指离散事件按照一定的运动规则相互作用来导致状态演化的一类动态系统。DEDS研究中最基本的一个问题是系统的建模,研究FMS也需从研究建模方法开始。

围绕从不同视角和不同数学工具来描述DEDS,形成了研究DEDS的多种方法体系:第一种方法是从逻辑模型的角度研究DEDS中事件和状态的序列的建模方法,主要有形式语言、有限自动机、时态逻辑、Petri网等;第二种方法是从时间模型的角度研究DEDS运动轨道及其特性的建模方法,主要有递归过程、通信序贯过程、极大极小代数、赋时Petri网等;而排队网络、广义马尔可夫过程等,则是第三种方法,它是从统计性能模型的角度研究DEDS过程性能的建模。

但在实际工程应用中,Petri网以其独特的优势被广泛应用于控制系统建模,但由于作业车间的规模大小和体系结构的不同,其体现形式也多种多样,基本Petri网不能满足建模的需要,必须扩展基本Petri网以满足实际描述过程的复杂性。采用面向对象技术和Petri网相融合的设计方法,利用

对象技术所特有的继承和封装等性质，以结构化方式简化复杂的状态空间，并可实现软件的可重用性，可很好地解决柔性作业车间的动态资源的实时控制问题。

综上所述，柔性作业车间生产调度与控制系统发展状况可作如下概括：

① 柔性作业车间调度与控制体系结构的研究大多是参考 CIM-OSA 模型建立的，目前比较成熟的是面向 CIM 系统功能构成和控制结构的体系结构，它在国际上已经得到了广泛应用，然而该体系结构在实际应用上还仅限于递阶控制思想上，没有给出划分功能层次的实施标准，FMS 环境下集成结构及支撑技术尚处于研究阶段。

② 柔性作业车间调度与控制系统的建模方法很多，大多数方法存在描述能力不强的问题。Petri 网建模方法不仅具有图形化建模，而且可进行模型的动态特性分析，是 FMS 建模的理想选择。基本 Petri 网由于语义单一使得模型过于复杂，模块性差。为了克服这些缺陷，研究人员相继提出了多种扩展 Petri 网，如着色网、赋时网等，但这些 Petri 网忽略了控制节点，而且控制模型与控制软件代码之间缺少直接的映射关系。

③ 采用标准遗传算法解决柔性作业车间调度问题存在算法稳定性较差、收敛速度慢以及易于收敛到局部优化解等问题。基于改进策略的遗传算法已经成为解决车间生产调度问题的有效途径之一。

1.3 本书内容结构安排

本书结合实际工程制造系统——某机械制造企业的柔性制造车间一期工程进行研究。本书研究的主要内容如下。

第 1 章 在大量查阅国内外有关文献的基础上，分析了柔性制造车间生产调度和控制系统的国内外研究动态，总结了当今研究的一些热点和难点问题，结合实际工程项目的背景情况，确立所要进行研究的内容。

第 2 章 建立了一种柔性制造环境下集成框架结构，采用用户/服务器模式和数据库技术作为支撑技术，实现系统数据通信和信息共享，最终达到柔性作业车间功能、信息和过程的集成。

第 3 章 将启发式规则和极值优化算法与遗传算法相结合，提出了一种高效的柔性作业车间调度改进遗传算法，并对初始种群生成、选择策略、交叉算子和变异算子进行了改进，最后通过保优策略保证了所提出的算法的寻优性能和求解效率。

第 4 章 实现生产过程控制的首要问题是控制过程的建模问题。本书利

用面向对象的 Petri 网技术精确描述生产过程中各种资源的状态和状态之间的转换关系,建立了 FJSF 的控制模型。将面向对象的 Petri 网运行驱动方式与制造系统中事件驱动方式相结合,通过编制事件驱动程序,即可方便地将控制模型转化为控制程序。

第5章 分布式数控系统(DNC)是柔性作业车间加工设备采集子系统,主要包括 DNC 总体结构、NC 程序管理、数控设备状态采集等部分内容。